

熱ショックによる野菜の病害抵抗性の誘導

茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター 佐 藤 達 雄

はじめに

私たちの研究グループ（茨城大学，茨城県農業総合センター園芸研究所，茨城県工業技術センター，理化学研究所，カンプロ株式会社）は平成20年度から3年間，農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「温湯散布による施設イチゴの農薬使用量削減と保鮮技術の確立」において共同研究を行い，温湯散布でイチゴに熱ショックを与えることにより作物体に病害抵抗性を誘導する技術を核とした病害虫防除技術の開発を行ってきた。使用基準を遵守するかがり農薬使用回数の多寡が安全上の問題になる訳ではないものの，薬剤耐性菌や薬剤抵抗性害虫の出現による効果の低下，周辺生態系への影響，生産費の増加，農薬散布の作業負担等，多方面の理由から化学合成農薬一辺倒の防除体系を見直す必要に迫られている。私たちはこのプロジェクトで，「作物を病気に強くする」という技術に着目した。本研究に着手する以前，私たちはまずキュウリを使い，高温処理による病害虫防除の可能性や，熱ショックが病害抵抗性を誘導するメカニズムについて解明を試み，実際にこのような現象が植物に起きているということを確認した。そこで，次にイチゴについて生産圃場での実用化を目指した技術組立を行うことになった。本稿ではキュウリで明らかになった誘導抵抗性のメカニズムとイチゴでの実用化展開について，いまだ途中経過の段階ではあるが紹介する。

I 熱ショックにより誘導される病害抵抗性のメカニズム

作物が高温に遭遇することによって病害に対する抵抗性が高まるという現象について，私たちの持つ印象は，人間に例えれば「風呂に入ると風邪をひかない」といった類のものであり，もとより少数の単純な反応だけですべてを説明できるとは考えにくい。むしろ高温という刺激に対し複数の経路を経た様々な段階で抵抗性反応が生じると見たほうが自然と思われる。まず，私たちは最も

シンプルな実験系である温湯浸漬法によってキュウリの幼苗に熱ショックを施し，24時間後に灰色かび病 (*Botrytis cinerea*)，炭疽病 (*Colletotrichum lagenarium*)，黒星病 (*Cladosporium cucumerinum*) 等の病原菌を接種した。すると40℃の温湯に20秒間浸漬した処理区では，処理後，接種までの間に病害抵抗性が誘導され，無処理区に対し，処理区では接種された病原菌による病徴の進展が抑制されることが観察された（口絵；芳野ら，印刷中）。次に接種直前に葉を採取し，葉中の総サリチル酸含量や病害抵抗性に関する発現マーカー遺伝子の一つとして選抜したパーオキシダーゼの発現量を測定すると，熱ショックによってそれらが有意に増加していた（図-1）。サリチル酸は全身獲得抵抗性 (Systemic Acquired Resistance; SAR) のシグナル伝達に関する物質として知られている (Ross, 1961)。現在，ジャスモン酸やエチレンによる誘導抵抗性も知られているが，それらの中でも SAR は最も主要なものである。植物に病原菌が感染すると，それに伴う過敏反応の過程で感染部位にサリチル酸が増加し，サリチル酸またはそれに関係する何らかのシグナル伝達物質が全身に移行することによってパーオキシダーゼなどの防御関連タンパク質の合成が植物体全体で行われる。その結果，病原菌の新たな感染に対する防御レベルが上昇する。この現象が発生していることを確認するため，二葉期の苗の第一葉のみに温湯浸漬によって熱ショックを与えたところ，第一葉のみならず，処理が行われていない第二葉においてもパ

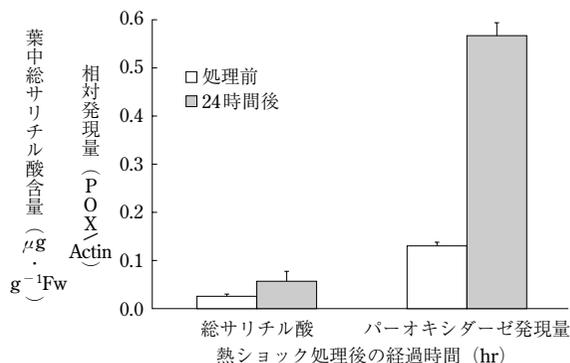


図-1 温湯浸漬処理によるキュウリ葉でのサリチル酸の集積並びにパーオキシダーゼ遺伝子の発現

Inducing Disease Resistance by Heat Shock in some Vegetables.
By Tatsuo Sato

(キーワード: キュウリ, イチゴ, 熱ショック, 抵抗性誘導, 温湯散布, うどんこ病)

一オキシダーゼ遺伝子の発現レベルは上昇し、灰色かび病に対する抵抗性の誘導が見られた(図-2, 3)。これは局所的な処理が全身的な反応となって現れたことを示している。これらのことから、温湯浸漬によってキュウリの植物体に熱ショックを付与すると、処理された部分が開始点となって全身獲得抵抗性という現象が誘導され、処理部位以外でも抵抗性レベルが上昇することが明らかになった。全身獲得抵抗性は一般に防除スペクトラムが広く、キュウリでは温湯浸漬処理によって様々な病原菌に対して抵抗性が誘導されたが、私たちの実験の中では唯一、褐斑病(*Corynespora cassiicola*)に対しては逆に抵抗性を失い、罹病性となった。誘導抵抗性は植物だけの反応ではなく、病原体との相互作用に起因するものであることを示していることが示唆された。

II 熱ショックの処理方法

温湯浸漬処理とは、温湯に植物体の地上部や全株を浸漬する方法である。この方法は湯温や浸漬時間の調節によって様々な実験条件を作出することが可能であり、ま

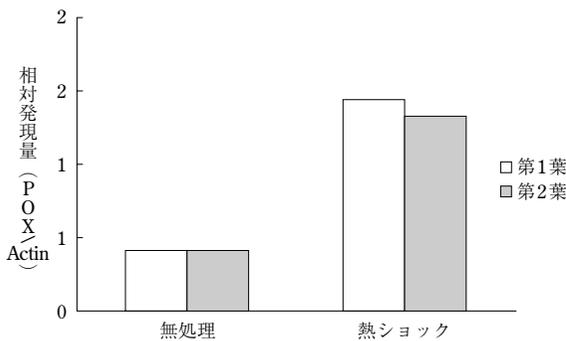


図-2 局所的な温湯浸漬処理によるキュウリ葉での全身的なパーオキシダーゼ遺伝子の発現

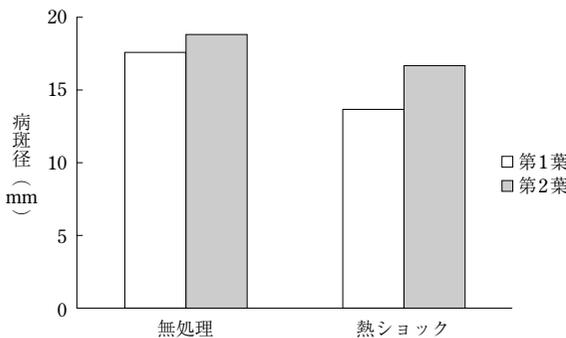


図-3 局所的な温湯浸漬処理によるキュウリ葉での全身的な灰色かび病抵抗性の発現

た、浸漬された葉の温度も速やかに上昇することから効果が安定的であり再現性も高い。しかし、手作業で苗を温湯に浸漬しなければならないことから、実験室での利用は便利であるが実用場面での作業効率も低く、特に圃場で立毛中の作物に処理を行うことは困難である。そこで、私たちがこのほかに検討した方法は施設密閉と温湯散布である。施設密閉による熱ショックの処理については、ビニールハウスやガラス温室を閉め切ることによって高温環境を創出するものであり、できるだけ早朝から施設を閉め切ると、夏期には容易に40~50℃以上の条件を得ることができる(佐藤ら, 2003)。キュウリの場合では内気温45℃が1時間程度、持続するように管理し、設定時間経過後には施設を全開にしてただちに換気し、内気温を下げる。これを週1回、行う。キュウリのように草丈が2m以上にもなる作物に対しても有効であり、特に夏期に問題となるうどんこ病を抑制できる。また全身獲得抵抗性の原理に従えば、作物体の一部分だけでも目的とする処理条件を満たしていれば抵抗性誘導効果は全身的に発現するため、それほど厳密な温度管理が必要なわけではない。さらにコナジラミ類やアブラムシ、アザミウマ類等の微小昆虫を熱により防除することも可能である(東ら, 1990)。しかし、この方法において最も注意すべきことは、葉温は内気温よりも上昇しにくいことである。早朝から施設を密閉すると、地表からの水分蒸発や蒸散によって湿度が速やかに上昇しやすい。相対湿度が98%を超え、飽和状態に近づくと、葉の気孔が全開となってもそれ以上の蒸散が進まないため葉温は上昇する。しかし、相対湿度が低いま経過すると、内気温は上昇しても葉は盛んに蒸散するため葉温は上昇しない。したがって抵抗性誘導効果も起きないばかりか、熱による害虫の防除もできない。このため、密閉処理中はできるだけ温度が低い時間帯からスタートし、施設を密閉したまま処理を終えるようにしなければならない。途中で内気温が45℃以上となった場合、わずかも換気をするとも相対湿度が急激に低下し、蒸散量が根からの水分供給量を上回ることによってわずかで数分で急激に葉やけが発生することもある。したがって施設密閉による熱ショックの処理は季節や天候の影響を受けやすく微妙な管理が必要といえる。

温湯散布は温湯の供給や温湯調節機構、散布装置が必要となるものの、季節や天候に関係なく処理を行うことができる。そこで私たちは温湯供給装置として、炭酸ガス発生装置としての機能も兼ね備えるLPガス給湯器に着目した。キュウリやイチゴ等の施設作物では、施設密閉時に施設内の炭酸ガス濃度を800~1,500ppm程度に上

げ光合成を促すことがしばしば行われており、これは炭酸ガス施肥と呼ばれる。LP ガス燃焼式の炭酸ガス発生装置が一般に普及しており、これはガス燃焼による熱も発生するが、施設の暖房に利用できるほどの発熱量ではないことからこれまであまり顧みられなかった。このため、これに代えてLP ガス給湯器を使用し、燃焼ガスを炭酸ガス施肥に使うとともに温湯灌水などに利用する事例も増えている。そこで今回は一石三鳥方式として、LP ガス給湯器を炭酸ガス施肥と温湯灌水と温湯散布にすることを考えた。ただしその場合、ホース等で作物に温湯を散布すると莫大な湯量が必要になるうえ、均一な処理が難しい。反面、農業散布用のホースやノズルを接続すると、散布水量が十分でなく、細霧冷房と同じ原理により温湯がノズルから吐出した瞬間、気化熱を奪われて雰囲気温度は著しく低下してしまい効果が発揮できない。そこで、大粒径の水滴を吐出するノズルに変更するとともにノズルの周囲に箱形のカバーを装着することにより、作物体を半密閉状態とし、温湯散布時の温度低下を低減することができた(芳野ら, 2009)。

III イチゴでの応用

今回のプロジェクトでは、温湯散布による熱ショック処理をイチゴで検討した。イチゴの生産農家では既にハウスに温湯灌水用の給湯器が普及しつつあり、また草丈が低くて処理を行いやすい。イチゴの栽培は前年秋冬の親株準備に始まり、採苗(6~7月)、定植(9月)、収穫(11~5月)と、1年半以上にもわたるうえ、炭疽病、萎黄病、うどんこ病、灰色かび病、ハダニ類、アブラムシ、アザミウマ類、ハスモンヨトウ等なんらかの病害虫が常に発生している。このため農業使用量は園芸作物の中でも多く、促成栽培で5月まで収穫する場合、茨城県特別栽培農産物認証制度対象農産物並びに農業及び化学肥料の使用基準(2009)に示される化学合成農業の使用成分回数(回)の慣行レベルは48回となっている。そこで私たちは、温湯散布による抵抗性誘導効果や消毒、洗浄効果を期待しつつ、これだけでは抑制できない病害虫については農業を効果的に併用し、総合的に農業使用量を削減することが現実的な選択と考えた。特に近年、生産現場において炭疽病の蔓延や、うどんこ病、灰色かび病薬剤耐性菌の出現が問題となっている。このうち炭疽病については種苗生産段階からの体系的な対策が必要であり、本圃での対策には限界があるが、うどんこ病や灰色かび病については最近、被害が大きく、農業代替防除手段に期待が高まっている。これまでイチゴでは、定植苗に寄生するうどんこ病、ハダニ(小板橋ら, 2002)、

ミカンキイロアザミウマ等の本圃への持ち込みを防止するため、温湯浸漬による防除技術が開発されてきた。まず、キュウリと同様、事前に温湯浸漬を行った葉に対して病害の接種試験を行ったところ、50℃、20秒の処理条件で炭疽病、灰色かび病、うどんこ病に対して抵抗性が強く誘導されることが確かめられた。また、局所的な処理を行った場合でも抵抗性は全身的に発現すること、病害抵抗性関連遺伝子の発現が認められることから、熱ショックによって全身的な抵抗性誘導が起きる可能性が認められた。ただし、サリチル酸の集積や抵抗性関連遺伝子の発現はキュウリなどに対して遅く、ピークに達するまでに数日から一週間程度を要した。一方、温湯浸漬を行った葉には速やかに強力な抗菌反応の発現が観察されることから、イチゴでは、SARとは異なる誘導抵抗性が強く発現している可能性も考えられた。これについては現在、メカニズムを調査中である。

IV 温湯散布装置の開発

イチゴ高設栽培用として図-4に示す装置を製作した。本装置では沈下防止杭上に敷設された直管パイプのレール①上をバッテリー式自走台車②が走行する。この基本的なレール敷設方法は、田中ら(2009)のバリアフリーイチゴ栽培システムに倣ったものであり、通路上に枕木を置かないことによって作業の邪魔にならなくなっている。LP ガス給湯器はハウス外に設置され、定流量弁、減圧弁、原水混入バルブを通すことにより定圧・定量・定温に調節された温湯が懸垂式ホース繰出機構③により供給される。温湯散布部分は側方が硬質カバーで、進行方向はスリット入り軟質プラスチック製カバー④で覆われている。ノズル⑤はフレキシブル管に接続され、イチゴの草姿に合わせて位置や角度を調節可能となっている。なお、温湯散布により誘導される抵抗性は全身のものなので、一部でも確実に処理されていればよく、必ずしも植物体全体に均一に散布する必要はない。本体は軽量なアルミフレーム⑥を使用しており、ハウス間の移動は横方向のレールを使うことにより可能である。⑦のダクトは、ガス給湯器の燃焼ガスをシロッコファンでハウス内に拡散させている。ただし、給湯器と直結してしまうと正常な燃焼が行われず失火の原因となるため、接続には注意が必要である。1a、4ベッドのハウスで2ベッドずつ処理を行う場合、供給湯温62℃、水圧1kg/cm²、流量9l/min、最上位に位置する葉と上面のノズル間の距離を15cm上としたとき、ノズルの移動速度50cm/minで葉面温度50℃、20秒を達成することができた。1aあたりのガス代は1回につき380円、週



図-4 自走式温湯散布装置 (愛称: ゆけむらー)
①沈下防止杭上レール, ②バッテリー式自走台車,
③懸垂式給湯ホース繰出機構, ④保温カバー, ⑤可
変ノズル配置, ⑥アルミフレーム, ⑦炭酸ガス施肥
用ダクト。

1回, 育苗ハウス (本圃面積の1/5) 6回, 本圃32回の処理をした場合, ガス代は12,600円/年程度となり, 炭酸ガス施肥コスト内に収まる。燃焼ガスを炭酸ガス施肥に利用するため, 理想的にはハウス全体を7区画に分け, 1日につき1区画ずつ処理を行い, 一週間で全体の処理を終えるようにすると効率がよい。現在, 茨城大学ならびに茨城県農業総合センター園芸研究所ではこの装置を用いて栽培を続けており, 昨年度, 今年度とも収量, うどんこ病発病程度とも慣行防除と同等の効果をえた (表-1)。一方, 熱による殺虫効果について, アブラムシ, コナジラミに対しては温湯が直接かかれば効果が見込まれるが, ハダニ類, ハスモンヨトウについては効果が劣ることが判明している。また, 湿度が高いと灰色かび病の発生を招くため, 温湯散布は晴天日の午前中に行うなどの注意が必要である。また, 炭疽病に対しては温湯散布により健全株では抵抗性が誘導されるのに対し, 潜在感染株では逆に発病しやすくなる傾向がある。将来的には潜在感染株のスクリーニングに使用できる可能性があるが, 言うまでもなく育苗時からの総合的な感染防止策が必要である。また, 既に病害に感染してしまった株の治療効果や残効性もない。なお, 地床栽培用の懸垂式温湯散布装置も試作した (図-5)。処理方法や散布効果は高設ベンチ用のシステムと同等であるものの, 排水性の不良な圃場では使用が困難であった。

注意点として, 葉温50℃, 20秒の処理基準よりも高温・長時間になってしまうと葉やけの原因となる。イチゴの葉やけは処理直後にはわからず, 数日以上経過して

表-1 防除方法がイチゴの上物収量に及ぼす影響*

処理	節減対象			うどんこ病発生
	とちおとめ (g/株)	ひたち姫 (g/株)	農業散布回数** (回)	
温湯散布***	250	200	3	観察されず
慣行防除	273	207	26	観察されず
t検定	ns	ns		

*調査期間: 2010年12月6日~2011年2月14日まで。

**定植後の散布回数。

***定植以降, 週1回の散布を継続した。



図-5 懸垂自走式温湯散布装置 (愛称: 懸垂ゆけむらー)
①懸垂支持用レール, ②自走台車, ③懸垂式給湯ホ
ース繰出機構, ④保温カバー, ⑤可変ノズル配置,
⑥アルミフレーム。

から障害が出てくるため, 十分な注意が必要である。処理が適切に行われていれば, イチゴの生育, 着果, 収量, 糖度, 店保ちには特に悪影響は認められない。

おわりに

本稿執筆時点で, まだイチゴの実証栽培が終了していないため, データがはなはだ不十分であることをお詫びする次第であるが, 本学と茨城県農業総合センター園芸研究所の3年間の実験では, 少なくともうどんこ病に対しては所期の効果を確認できた。実証試験の印象として, 農業を散布する手間, コストが省けることはもちろん, ミツバチに気を遣うこともなく, ハダニなど, 温湯で効果が見られない病害虫だけに注意していればよいのがメリットであった。育苗期の炭疽病防除回数を削減することは難しい点もあるが, 作期トータルで農業使用回数を慣行の1/3程度に削減することは可能と思われる。

なお、この研究成果はひとえに共同研究機関の参加者全員のご尽力と、本研究室の学生の皆さんの努力の賜物であります。この場をお借りして深くお礼申し上げます。

引用文献

1) 東 勝千代ら (1990): 和歌山農試研報 14: 35 ~ 44.

- 2) 小坂橋基夫ら (2002): 日本植物病理学会報 68: 197.
- 3) Ross, A. F. (1961): Virology 14: 340 ~ 358.
- 4) 佐藤達雄ら (2003): 園学雑 72: 56 ~ 63.
- 5) 田中一久ら (2009): 三重農研報 32: 1 ~ 7.
- 6) 芳野未央子ら (2009): 園学研 8 (別2): 503.
- 7) ————ら (2011): 同上 (印刷中).

書評

ナメクジ
—おもしろ生態とかしい防ぎ方—
宇高寛子・田中 寛著
A5判, 124頁, 1,785円(税込)
農文協(2010年6月発行)
(ISBN978-4-540091-54-4)



著者に断りなく裏タイトルをつけさせていただくと、「ナメクジをなめたらあかん!」という本である。私達の身近にいるナメクジであるが、本書には私達が想像もしなかったナメクジの生態(宇高寛子氏担当)、「え? うそ?」と言いたくなるようなナメクジ防除での思い込み(田中寛氏担当)が紹介されている。内容がおもしろすぎて、ついつい気持ち悪いナメクジの話であることを忘れてしまいそうである。著者の丁寧かつ詳細なデータを基に解説されているので、露地やハウスで作物を栽培している農家、農家を指導する立場にある営農指導員や普

及員まで幅広い人達に参考になる本であろう。

I章からII章はよく分かっていなかったナメクジの生態の話で始まる。梅雨時期にナメクジをよく見かけるため、ナメクジはこの時期に繁殖すると思っていた。ところが、精子や卵子をつくる両性腺という器官を分析したところ、実は晩秋から春が繁殖時期であることが明らかになった。孵化したばかりのナメクジは非常に小さいため人目につかず、ある程度成長した梅雨時期によく見られるようになる、というわけである。このようにあまり知られていなかった生態を解明していく前半の内容は、謎解きされるナメクジの生態に驚きの連続である。III章以降はどうすれば効率良くナメクジを防除できるかという内容である。ただ、「こうすると良い!」ではなく、I章やII章に述べられた生態的な知見、詳細な実験データに基づいて適切な防除法が検討されている。この結果を知るだけでも、十分お買い得の書である。例えば、ナメクジを退治する方法としてよく知られているビール・トラップの防除効果を本書で読むと、その意外な結末にびっくりする。ナメクジのいる場所に35日間ビール・トラップを設置した結果、誘殺数は最後までゼロにはならず、ほとんどのナメクジは生き残ったという。さらに、その費用は薬剤処理の16倍だというから、これはもう効くか効かないか以前に非実用的ということになる。その詳細な理由や問題点については実際に本書を購入して確認して欲しい。ナメクジ戦のため、ビールを少し掠め取られていたビール党に朗報であることは間違いない。その他にも、ナメクジに対して効果の高い剤が意外と売れず、逆に効果の低い剤が売れる不思議な話も紹介されている。いずれも、ナメクジの姿が見えないために効果を実感できないことから間違いが始まっているという。害虫を効率的に防除するためには、対象となる害虫の生態とそれを踏まえた防除方法に関する情報が重要であることを改めて感じた。身近なところで、いろいろな悪さをするナメクジの防除を見直すという意味で、本書が果たす役割は大きい。「ナメクジになめられないよう」に、是非、本書を手になメクジとの決戦に臨んで欲しい。家庭菜園や庭の花壇でナメクジに困っている、ガーデニング好きの一般の方達にも是非紹介して欲しい一冊である。
(宮崎大学農学部 市川大輔・大野和朗)